

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 16 977.6  
**Anmeldetag:** 12. April 2003  
**Anmelder/Inhaber:** ETEL S.A.,  
2112 Motiers/CH  
**Bezeichnung:** Verfahren zur Analyse eines  
Antriebssystems  
**IPC:** G 05 B, G 01 R, G 05 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 12. Februar 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

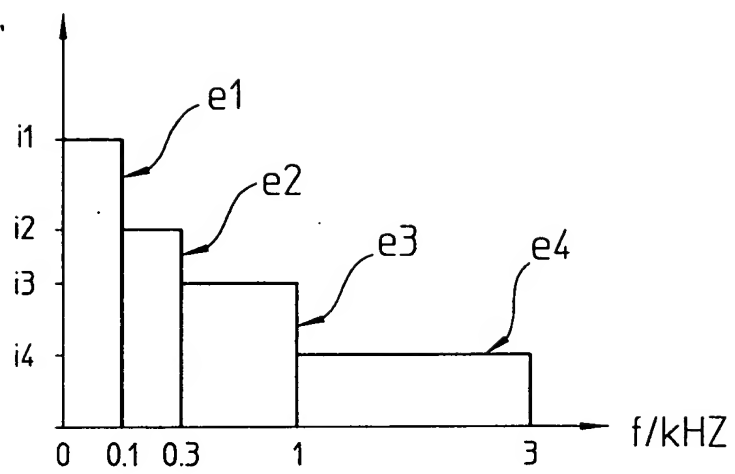
Ozierzon

### Zusammenfassung

#### Verfahren zur Analyse eines Antriebssystems

=====

- Verfahren zur Analyse eines Antriebssystems (1), nach dem eine Übertragungsfunktion eines Zielsystems (2) im Antriebssystem (1) bestimmt wird, indem Rauschsignale (e1, e2, e3, e4) an das Antriebssystem (1) angelegt werden, wobei nacheinander mehrere Rauschsignale (e1 - e4) als Eingangssignal (E) angelegt werden, die unterschiedliche Frequenzbereiche abdecken. Die Intensität (i1 - i4) der Rauschsignale (e1 - e4) kann dabei je nach abgedecktem Frequenzbereich schrittweise optimiert werden, um das Ergebnis der Identifikation eines Zielsystems (2) im Antriebssystem 1 zu verbessern. (Figur 3)
- 5



### Verfahren zur Analyse eines Antriebssystems

=====

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Analyse eines Antriebssystems. Solche Verfahren dienen dazu, ein Zielsystem innerhalb eines Antriebssystems einer speziellen Applikation zu analysieren. Anhand des Analyseergebnisses lassen sich z.B. optimierte Reglerparameter finden.

- 5 Die Anforderungen an moderne Antriebssysteme wachsen immer weiter an. So müssen beispielsweise in einem Bestückungsautomaten immer kleinere Bauteile immer genauer auf einer Platine platziert werden. Dabei steigt die Zahl der Bauteile pro Platinenfläche durch die Miniaturisierung immer weiter an, so daß auch die Geschwindigkeit der Bauteilpositionierung ständig steigen muß, um einen möglichst hohen Durchsatz an einer solchen Maschine zu erhalten. Höhere Positioniergenauigkeit bei gleichzeitig kürzeren Positionierzeiten sind eigentlich konträre Aufgaben, die sich nur durch optimal parametrisierte Regelkreise in Verbindung mit hochwertigen Motoren und Positionsmesssystemen lösen lassen.
- 10
- 15 Um jedoch die Parameter eines Regelkreises optimal einstellen zu können, ist eine möglichst genaue Kenntnis des Antriebssystems wichtig. Ein Werk-

zeug zur Analyse eines Antriebssystems ist die Ermittlung der Übertragungsfunktion des Antriebssystems bzw. eines Zielsystems innerhalb des Antriebssystems. Diese Übertragungsfunktion beschreibt, welche Dämpfung und welche Phasenverschiebung ein am Eingang des Zielsystems angelegtes Signal einer bestimmten Frequenz bis zum Ausgang erfährt. Die Ermittlung der Übertragungsfunktion des Antriebssystems bzw. des Zielsystems (auch Identifikation genannt) sollte möglichst für den geöffneten Regelkreis durchgeführt werden, da die Kenntnis der Übertragungsfunktion des Zielsystems bei geöffnetem Regelkreis eine Aussage über die Stabilität des Antriebssystems ermöglicht. In vielen Fällen ist ein Öffnen des Regelkreises aber nicht möglich. Dann muß eine Identifikation mit geschlossenem Regelkreis durchgeführt werden. Dies bedeutet, daß am Eingang des untersuchten Zielsystems nicht das zu Testzwecken angelegte Signal, sondern die Differenz aus dem angelegten Signal und dem gemessenen Istwert des geregelten Parameters anliegt.

Ein bekanntes Verfahren zur Identifikation eines Antriebssystems beruht darauf, am Eingang des Antriebssystems ein Rauschsignal anzulegen, das zumindest in allen für die jeweilige Applikation wichtigen Frequenzbereichen Signalanteile enthält. Ein Beispiel für eine solche Identifikation beschreibt die US 5,623,402. Es wird ein einzelnes Anregungssignal gebildet, das Anteile in verschiedenen für die Applikation wichtigen Frequenzbereichen enthält. In einem aufwändigen Verfahren wird dabei sicher gestellt, daß das Anregungssignal keine Anteile enthält, die zu einer Zerstörung des Antriebssystems führen könnten. Es muß nämlich bei der Anregung eines Antriebssystems mit Rauschsignalen darauf geachtet werden, daß in bestimmten Frequenzbereichen wesentlich stärkere Antworten (Resonanz) zu erwarten sind als in anderen Frequenzbereichen, die eher gedämpft werden.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zu schaffen, mit dem in einfacher Weise die Identifikation eines Antriebssystems ermöglicht wird.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1. Vorteilhafte Details des Verfahrens ergeben sich aus den von Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen.

Es wird ein Verfahren zur Analyse eines Antriebssystems beschrieben, nach dem eine Übertragungsfunktion eines Zielsystems innerhalb des Antriebssystems bestimmt wird, indem Rauschsignale an das Antriebssystem angelegt werden. Dabei werden nacheinander mehrere Rauschsignale als Eingangssignal angelegt, die unterschiedliche Frequenzbereiche abdecken.

Die Intensität der Rauschsignale kann dabei je nach abgedecktem Frequenzbereich schrittweise optimiert werden, um das Ergebnis der Identifikation des Zielsystems im Antriebssystem zu verbessern.

Weitere Vorteile sowie Einzelheiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform anhand der Figuren. Dabei zeigt

- |         |  |
|---------|--|
| Figur 1 | ein Antriebssystem mit geschlossenem Regelkreis;                   |
| Figur 2 | Rauschsignale in einer ersten Variante;                            |
| Figur 3 | Rauschsignale in einer zweiten Variante;                           |
| Figur 4 | Verfahrensschritte zum Festlegen der Intensität der Rauschsignale; |
| Figur 5 | ein Verfahren zur Analyse eines Antriebssystems.                   |

In Figur 1 ist in sehr allgemeiner Weise ein Blockschaltbild eines Antriebssystems 1 gezeigt. Vom Eingangssignal E wird an einer Additionsstelle 3.1 bei geschlossenem Regelkreis das Ausgangssignal A abgezogen. Die so gebildete Differenz IOL wird einem Zielsystem 2 im Antriebssystem 1 zugeführt. Die Übertragungsfunktion des Zielsystems 2 ist gesucht. Das Signal am Ausgang des Zielsystems 2 ist grundsätzlich nur mit einem überlagerten Umgebungsrauschen N zu bestimmen. Dies ist durch eine zweite Additionsstelle 3.2 angedeutet, an der das Umgebungsrauschen N aufgeschaltet ist. Das mit dem Umgebungsrauschen N beaufschlagte Ausgangssignal A wird auf die Additionsstelle 3.1 zurückgekoppelt.

Das Zielsystem 2 kann in einer typischen Applikation aus einer kaskadierten Reglerstruktur aus Lage-, Geschwindigkeits-, und Stromregler bestehen, die einen mit Pulsweitenmodulation betriebenen elektrischen Antrieb kontrolliert, der über eine Mechanik mit einem beweglichen Objekt verbunden ist. Das  
5 Eingangssignal E entspricht dann einer Sollposition des beweglichen Objektes. Am beweglichen Objekt mißt ein Positionsmeßgerät die tatsächliche Position und damit den Istwert des Objektes und gibt diese Position als Ausgangssignal A aus. Das Zielsystem 2 bildet nach dem vorliegenden Ausführungsbeispiel mit dem geschlossenen Positionsregelkreis das An-  
10 triebssystem 1. Die Differenz IOL stellt im Regelkreis die Abweichung des Istwertes vom Sollwert dar.

Will man die Übertragungsfunktion des Zielsystems 2 ermitteln, kann man in einem Bode-Diagramm die Dämpfung und Phasenverschiebung des Ausgangssignals A relativ zum am Eingang des Zielsystems 2 anliegenden Dif-  
15 ferenzsignal IOL gegen die Frequenz im zu untersuchenden Frequenzbereich auftragen. In einem solchen Bode-Diagramm lassen sich in bekannter Weise Stabilitätsreserven bzw. instabile Frequenzbereiche des Zielsystems 2 ablesen.

Die Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises läßt sich durch  
20 einen Vergleich des Signals ICL, das dem Eingangssignal E entspricht, mit dem Ausgangssignal A erhalten, indem auch hier wieder Dämpfung und Phasenverschiebung gegen den zu untersuchenden Frequenzbereich aufgetragen werden.

Im hier beschriebenen Verfahren werden dabei nacheinander unterschiedli-  
25 che Eingangssignale E aufgeschaltet und die daraus resultierenden Ausgangssignale A ermittelt. Wenn das Verhalten im geschlossenen Regelkreis interessiert, wird jeweils die Dämpfung und Phasenverschiebung zwischen Eingangssignal E und Ausgangssignal A gegen die Frequenz aufgetragen, bei der Untersuchung der Übertragungsfunktion des Zielsystems 2 im offe-  
30 nen Regelkreis wird die Dämpfung und Phasenverschiebung zwischen der Differenz IOL und dem Ausgangssignal A gegen die Frequenz aufgetragen.

Als Eingangssignale E dienen dabei, wie in Figur 2 dargestellt, Rauschsignale e1 bis e4 mit unterschiedlichen Frequenzbereichen. In einer typischen Applikation interessiert ein Frequenzbereich von 0 kHz bis 3 kHz. Um zu berücksichtigen, daß im vorliegenden Beispiel bei niedrigen Frequenzen die Dämpfung des Eingangssignals E bis zum Differenzsignal (IOL) am Eingang des Zielsystems 2 höher ist als bei hohen Frequenzen (Hochpaßverhalten), kann man die Intensität i1 - i4 der Rauschsignale e1 - e4, die lediglich niedrige Frequenzanteile enthalten, höher wählen als die Intensität i1 - i4 der Rauschsignale e1 - e4, die höhere Frequenzanteile enthalten. So ist die Intensität i1 des Rauschsignals e1, das lediglich Frequenzen zwischen 0 kHz und 0.1 kHz enthält, deutlich höher als die Intensität i4 des Rauschsignals e4, das Frequenzen zwischen 0 kHz und 3 kHz enthält.

Eine alternative Einteilung der Frequenzbereiche zeigt Figur 3, nach der der interessierende Frequenzbereich in nicht oder nur wenig überlappende Frequenzbänder aufgeteilt ist. Wieder erhält das Rauschsignal e1, das einen niedrigen Frequenzbereich abdeckt, eine höhere Intensität i1 als das Rauschsignal e4, das einen hohen Frequenzbereich abdeckt.

Sowohl die Anzahl der Rauschsignale e1 - e4 als auch der abgedeckte Frequenzbereich und die einzelnen Grenzfrequenzen sind natürlich nur als Beispiel zu verstehen und müssen der jeweiligen Applikation angepaßt werden. Es sind auch unregelmäßige Einteilungen mit teilweiser Überlappung der einzelnen Frequenzbereiche der Rauschsignale e1 - e4 möglich.

Für die Identifikation von anderen Zielsystemen 2 innerhalb des Antriebssystems 1, bei denen das Eingangssignal E einer Tiefpaßfilterung bis zum Eingang des Zielsystems 2 unterliegt, kann die Intensitätsverteilung auch umgekehrt werden. In Figur 3 hätte dann das Rauschsignal e4 im höchsten Frequenzbereich die höchste Intensität i4, das Rauschsignal e1 im niedrigsten Frequenzbereich die niedrigste Intensität i1. Wird als Zielsystem 2 etwa die mechanische Kopplung des beweglichen Objekts mit dem elektrischen Antrieb untersucht, so unterliegt das am Zielsystem 2 anliegende Signal, nämlich die vom elektrischen Antrieb ausgeübte Kraft, üblicherweise ei-



ner Tiefpaßfilterung bezogen auf das am Eingang des Antriebssystems 1 angelegte Signal E.

5 Grundsätzlich sollten Rauschsignale  $e_1 - e_4$ , die vom Eingang des Antriebssystems 1 bis zum Eingang des Zielsystems 2 stärker gedämpft werden, mit einer höheren Intensität am Antriebssystem 1 angelegt werden. Dies verbessert den Abstand des Ausgangssignals A des Zielsystems 2 vom Umgebungsrauschen N.

10 Die Intensität  $i_1 - i_4$  der einzelnen Rauschsignale  $e_1 - e_4$  darf einerseits nicht zu niedrig sein, um einen ausreichenden Abstand der jeweiligen Ausgangssignale  $a_1 - a_4$  vom Umgebungsrauschen N zu gewährleisten, andererseits kann die Intensität  $i_1 - i_4$  auch nicht beliebig hoch gewählt werden, da im Zielsystem 2 verschiedene Parameter limitiert sind. Im beschriebenen Beispiel kann dies etwa ein maximaler Strom im elektrischen Antrieb und eine maximale Geschwindigkeit des beweglichen Objektes sein.

15 Es wird daher ein Verfahren zum Festlegen der Intensität  $i_1 - i_4$  der Rauschsignale  $e_1 - e_4$  beschrieben. Ausgehend von der beispielhaften Festlegung, daß der Strom im Antrieb maximal 60% seines Sättigungswertes erreichen sollte und die maximale Geschwindigkeit bei höchstens 80% der erlaubten Geschwindigkeit liegen sollte, werden entsprechende Grenzwerte  $C_{\text{grenz}}$  für  
20 den Strom und  $V_{\text{grenz}}$  für die Geschwindigkeit festgelegt.

Anhand von Figur 4 wird nun ein Verfahren zum Festlegen der Intensität  $i_1$  für das erste Rauschsignal  $e_1$  stellvertretend für alle weiteren Rauschsignale  $e_2 - e_4$  beschrieben.

25 Im ersten Schritt S1 wird das Rauschsignal  $e_1$  für eine bestimmte Zeit (z.B. 500 ms) als Eingangssignal E angelegt. Die in dieser Zeit auftretenden Maximalwerte des Stromes  $C_{\text{max}}$  und der Geschwindigkeit  $V_{\text{max}}$  werden dabei erfaßt. Die Intensität  $i_1$  des Rauschsignals  $e_1$  wird dabei zunächst so niedrig gewählt, daß sicher keiner der Grenzwerte  $C_{\text{grenz}}$  und  $V_{\text{grenz}}$  erreicht wird, also

30  $C_{\text{max}} \ll C_{\text{grenz}}$

und

$$V_{\max} \ll V_{\text{grenz.}}$$

Im zweiten Schritt S2 wird jeweils das Verhältnis

$$R_c = C_{\text{grenz}}/C_{\max}$$

5 und

$$R_v = V_{\text{grenz}}/V_{\max}$$

gebildet. Je größer dieses Verhältnis ist, desto weiter liegt also der maximal auftretende Strom- oder Geschwindigkeitswert ( $C_{\max}$  bzw.  $V_{\max}$ ) von seinem Grenzwert ( $C_{\text{grenz}}$  bzw.  $V_{\text{grenz}}$ ) entfernt.

- 10 In einem dritten Schritt S3 wird ein Faktor  $F$  bestimmt, der dem kleineren der beiden Verhältnisse  $R_c$  und  $R_v$  entspricht:

$$F = \min(R_c, R_v)$$

- In einem vierten Schritt S4 wird geprüft, ob der Faktor  $F$  ungefähr eins ist. Da dies bedeutet, daß einer der beiden Werte  $C_{\max}$  oder  $V_{\max}$  seinen Grenzwert  $C_{\text{grenz}}$  bzw.  $V_{\text{grenz}}$  in etwa erreicht hat, endet das Verfahren zum Festlegen der Intensität  $i_1$  des Rauschsignals  $e_1$  hier.
- 15

Ist der Faktor jedoch noch deutlich größer als eins, wird in einem fünften Schritt S5 die Intensität  $i_1$  um diesen Faktor  $F$  erhöht:

$$i_1 := i_1 * F$$

- 20 Mit dieser erhöhten Intensität  $i_1$  verzweigt das Verfahren wieder zum ersten Schritt S1 und beginnt von neuem. Auf diese Weise nähert sich die Intensität  $i_1$  schrittweise einem optimierten Wert, bei dem der Maximalwert  $C_{\max}$ ,  $V_{\max}$  einer der limitierenden Parameter Strom bzw. Geschwindigkeit seinem Grenzwert  $C_{\text{grenz}}$  bzw.  $V_{\text{grenz}}$  nahe kommt. Dabei geht man davon aus,
- 25 daß sich die Intensität  $i_1$  des Rauschsignals  $e_1$  und der jeweilige Maximalwert  $C_{\max}$  bzw.  $V_{\max}$  annähernd linear verhalten. Da diese Annahme nicht

für beliebig große Faktoren  $F$  richtig sein kann, ist es sinnvoll, den Faktor  $F$  im fünften Schritt  $S5$  zu begrenzen. Ein sinnvoller Wert könnte beispielsweise ein maximaler Faktor  $F$  von fünf sein.

5 Die Intensitäten  $i2 - i4$  der übrigen Rauschsignale  $e2 - e4$  werden auf analoge Weise iterativ optimiert.

Als limitierende Parameter kommen natürlich auch andere oder zusätzliche zugängliche Parameter des Zielsystems 2 in Frage. Wichtig ist nur, im dritten Schritt  $S3$  das jeweils kleinste Verhältnis  $R_c, R_v$  zu bestimmen, um den Faktor  $F$  nicht zu groß werden zu lassen. Die Optimierung ist auch mit nur  
10 einem limitierenden Parameter möglich. Es kann außerdem natürlich mit Kehrwerten der oben definierten Verhältnisse  $R_c, R_v$  gearbeitet werden, dann muß als Faktor  $F$  der größere der beiden Werte verwendet werden, und die Intensität  $i1 - i4$  der Rauschsignale  $e1 - e4$  für den jeweils nächsten Iterationsschritt mit dem Faktor  $1/F$  erhöht werden.

15 Zur Identifikation des Zielsystems 2 werden nun also nacheinander mehrere Rauschsignale  $e1 - e4$  als Eingangssignal  $E$  an das Zielsystem 2 angelegt, die unterschiedliche Frequenzbereiche abdecken und unterschiedliche, optimierte Intensitäten  $i1 - i4$  aufweisen. Die jeweiligen Ausgangssignale  $a1 - a4$  werden dabei erfaßt. Durch das sequentielle Anlegen der Rauschsignale  
20  $e1 - e4$  kann die Intensität  $i1 - i4$  in den einzelnen Frequenzbereichen höher sein als bei einer Identifikation, die wie im Stand der Technik alle Frequenzen mit einem einzigen Eingangssignal abdecken muß. Dies erhöht die Genauigkeit der Identifikation.

Aufgrund des Superpositionsprinzips können dann alle Rauschsignale  $e1 - e4$  und alle dabei jeweils erhaltenen Ausgangssignale  $a1 - a4$  addiert werden:  
25

$$E = e1 + e2 + e3 + e4$$

und

$$A = a1 + a2 + a3 + a4$$

Aus der frequenzbezogenen Phasenverschiebung und Dämpfung zwischen dem auf diese Weise berechneten Eingangssignal E und Ausgangssignal A kann das zur Identifikation des Zielsystems 2 im geschlossenen Regelkreis gesuchte Bode-Diagramm ermittelt werden.

- 5 Zur Identifikation des Zielsystems 2 im offenen Regelkreis wird das Differenzsignal  $iol1 - iol4$  für jedes Rauschsignal  $e1 - e4$  ermittelt und die Summe gebildet:

$$IOL = iol1 + iol2 + iol3 + iol4$$

- 10 Wieder wird das gesuchte Bode-Diagramm aus der Phasenverschiebung und Dämpfung zwischen IOL und A ermittelt.

E, IOL und A werden also im beschriebenen Verfahren nicht unmittelbar durch ein Experiment ermittelt, sondern durch Superposition mehrerer Rauschsignale  $e1 - e4$  bzw. Differenzsignale  $iol1 - iol4$  und mehrerer zugehöriger Ausgangssignale  $a1 - a4$  berechnet.

- 15 Ein alternativer Weg zur Identifikation des Zielsystems 2 besteht darin, daß für die Identifikation im geschlossenen Regelkreis die Bode-Diagramme für jedes Rauschsignal  $e1 - e4$  (bzw. die Differenzsignale  $iol1 - iol4$ ) und das dazugehörige Ausgangssignal  $a1 - a4$  erstellt werden.

- 20 Es wird dann ein zusammengesetztes Bode-Diagramm erstellt, indem von jedem Bode-Diagramm für eines der Rauschsignale  $e1 - e4$  nur ein Teil des Frequenzbereiches verwendet wird. So wird für das Rauschsignal  $e1$  nach Figur 2 oder Figur 3 nur der Frequenzbereich von 0 Hz - 100 Hz des dazugehörigen Bode-Diagramms verwendet und mit dem Frequenzbereich von 100 Hz - 300 Hz des Bode-Diagramms des Rauschsignals  $e2$  verbunden.

- 25 Entsprechend liefern die Bode-Diagramme der Rauschsignale  $e3$  und  $e4$  die Bereiche 300 Hz - 1 kHz und 1 kHz - 3 kHz. Das derart zusammengesetzte Bode-Diagramm deckt dann den untersuchten Frequenzbereich vollständig ab.

Der Vorteil des beschriebenen Verfahrens besteht darin, daß Rauschsignale  $e_1 - e_4$  mit Frequenzanteilen, die bis zum Zielsystem 2 einer starken Dämpfung unterliegen, mit einer höheren Intensität  $i_1 - i_4$  eingespeist werden können. In diesen Bereichen ist die Identifikation des Zielsystems 2 dann genauer als in Verfahren, in denen nur ein Rauschsignal  $e_1 - e_4$  verwendet wird, das den gesamten zu untersuchenden Frequenzbereich abdeckt und dabei keine Grenzwertverletzung im Zielsystem 2 auslösen darf.

Zusammenfassend sei anhand der Figur 5 noch einmal das Verfahren zur Identifikation des Zielsystems 2 beschrieben.

- 10 In einem Festlegungsschritt S10 werden die Intensitäten  $i_1 - i_4$  ermittelt, mit denen jeweils Rauschsignale  $e_1 - e_4$  als Eingangssignal E angelegt werden dürfen, so daß von den limitierenden Parametern wie Strom oder Geschwindigkeit keiner seinen jeweiligen Grenzwert  $C_{\text{grenz}}$  bzw.  $V_{\text{grenz}}$  überschreitet. Ein einfaches Verfahren hierfür wurde anhand der Figur 4 beschrieben.
- 15 Die Rauschsignale  $e_1 - e_4$  decken dabei für sich jeweils unterschiedliche Frequenzbereiche ab, zusammen decken die Rauschsignale  $e_1 - e_4$  den zu untersuchenden Frequenzbereich ab.

- In einem Ermittlungsschritt S20 werden die Rauschsignale  $e_1 - e_4$  nacheinander als Eingangssignale E mit den in Schritt 10 ermittelten Intensitäten  $i_1 - i_4$  angelegt und dabei jeweils das Ausgangssignal  $a_1 - a_4$  erfaßt. Soll das Verhalten des Zielsystems 2 bei offenem Regelkreis untersucht werden, so wird zusätzlich das jeweils vorliegende Differenzsignal  $iol_1 - iol_4$  erfaßt.
- 20

- Die Schritte S10 und S20 können dabei nacheinander zunächst für  $e_1 / i_1$  ausgeführt werden, dann für  $e_2 / i_2$ ,  $e_3 / i_3$  und  $e_4 / i_4$ , oder alternativ S10 zunächst für alle Rauschsignale  $e_1 - e_4$ , dann S20 für alle Rauschsignale  $e_1 - e_4$  mit den in Schritt S10 bestimmten Intensitäten  $i_1 - i_4$ . In jedem Fall muß S20 für alle Rauschsignale  $e_1 - e_4$  abgeschlossen sein, bevor zu Schritt S30 verzweigt werden kann.
- 25

- Im Identifikationsschritt S30 wird nun aus den Rauschssignalen  $e_1 - e_4$  bzw. den Differenzsignalen  $iol_1 - iol_4$  und den Ausgangssignalen  $a_1 - a_4$  das Bode-Diagramm des Zielsystems im geschlossenen bzw. offenen Regelkreis
- 30

bestimmt. Dabei kann entweder anhand des Superpositionsprinzips jeweils die Summe aller Rauschsignale  $e_1 - e_4$  bzw. die Summe aller Differenzsignale  $i_{ol1} - i_{ol4}$  und die Summe aller Ausgangssignale  $a_1 - a_4$  betrachtet werden, oder für jedes angelegte Rauschsignal  $e_1 - e_4$  ein eigenes Bode-Diagramm ermittelt werden. Die einzelnen Bode-Diagramme können dann wie oben erläutert in Frequenzbereiche zerlegt und zu einem zusammengesetzten Bode-Diagramm verbunden werden, das den zu untersuchenden Frequenzbereich vollständig abdeckt.

10 Anhand des Bode-Diagramms für das Zielsystem 2 im offenen Regelkreis kann nun z.B. die Stabilität des untersuchten Antriebssystems 1 beurteilt werden bzw. bei Bedarf eine Optimierung der Reglerparameter im Zielsystem 2 vorgenommen werden.

15 Das Verfahren zur Identifikation eignet sich für unterschiedlichste Zielsysteme 2. Es muß nur jeweils gewährleistet sein, daß die Signale am Eingang und am Ausgang des Zielsystems sowie die limitierenden Parameter erfaßbar sind.

ETEL S.A.

11. April 2003

### Ansprüche

=====

1. Verfahren zur Analyse eines Antriebssystems (1), nach dem eine Übertragungsfunktion eines Zielsystems (2) innerhalb des Antriebssystems (1) bestimmt wird, indem Rauschsignale (e1, e2, e3, e4) an das Antriebssystem (1) angelegt werden, dadurch gekennzeichnet, daß  
5      nacheinander mehrere Rauschsignale (e1 - e4), die unterschiedliche Frequenzbereiche abdecken, als Eingangssignale (E) am Antriebssystem (1) angelegt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rauschsignale (e1 - e4) unterschiedliche Intensitäten (i1 - i4) aufweisen.
- 10    3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensitäten (i1 - i4) optimiert werden, indem die Intensitäten (i1 - i4) schrittweise erhöht werden, bis ein Maximalwert (Cmax, Vmax) eines limitierenden Parameters des Antriebssystems (1) in der Nähe eines Grenzwerts (Cgrenz, Vgrenz) liegt.
- 15    4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Rauschsignale (e1 - e4) aus Rauschen in mehreren Frequenzbändern bestehen, die beginnend bei einer immer gleichen unteren Grenzfrequenz, jeweils bei unterschiedlichen oberen Grenzfrequenzen enden, wobei das Eingangssignal (e4) mit dem breitesten Frequenzband  
20      einen zu untersuchenden Frequenzbereich vollständig abdeckt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Rauschssignale (e1 - e4) aus Rauschen in sich jeweils nicht oder nur wenig überlappenden Frequenzbereichen bestehen, die zusammen einen zu untersuchenden Frequenzbereich abdecken.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Übertragungsfunktion des Zielsystems (2) im geöffneten Regelkreis am Zielsystem (2) anliegende Differenzsignale (iol1 - iol4) und zugehörige Ausgangssignale (a1 - a4) herangezogen werden.

5

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Übertragungsfunktion des Zielsystems (2) jeweils eine frequenzabhängige Dämpfung und Phasenverschiebung zwischen den Differenzsignalen (iol1 - iol4) und den Ausgangssignalen (a1 - a4) bestimmt werden.

10



FIG. 1

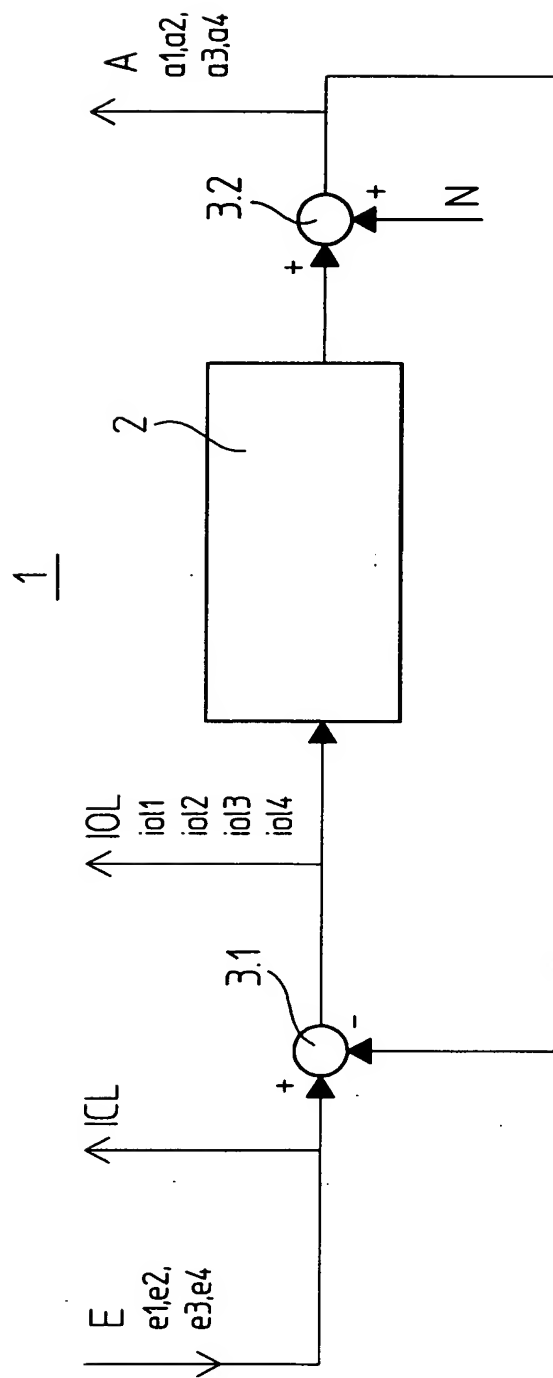


FIG. 2

2/3

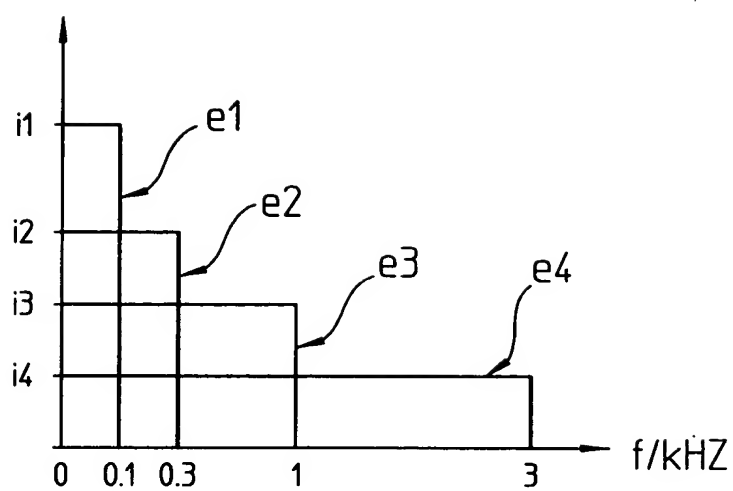


FIG. 3

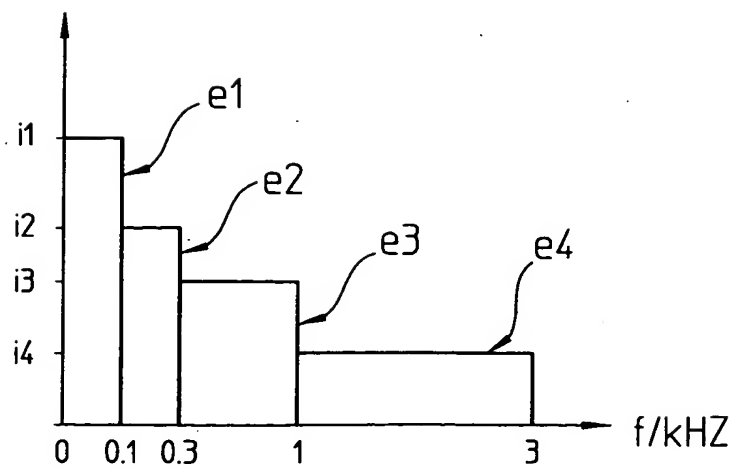


FIG. 4

3/3

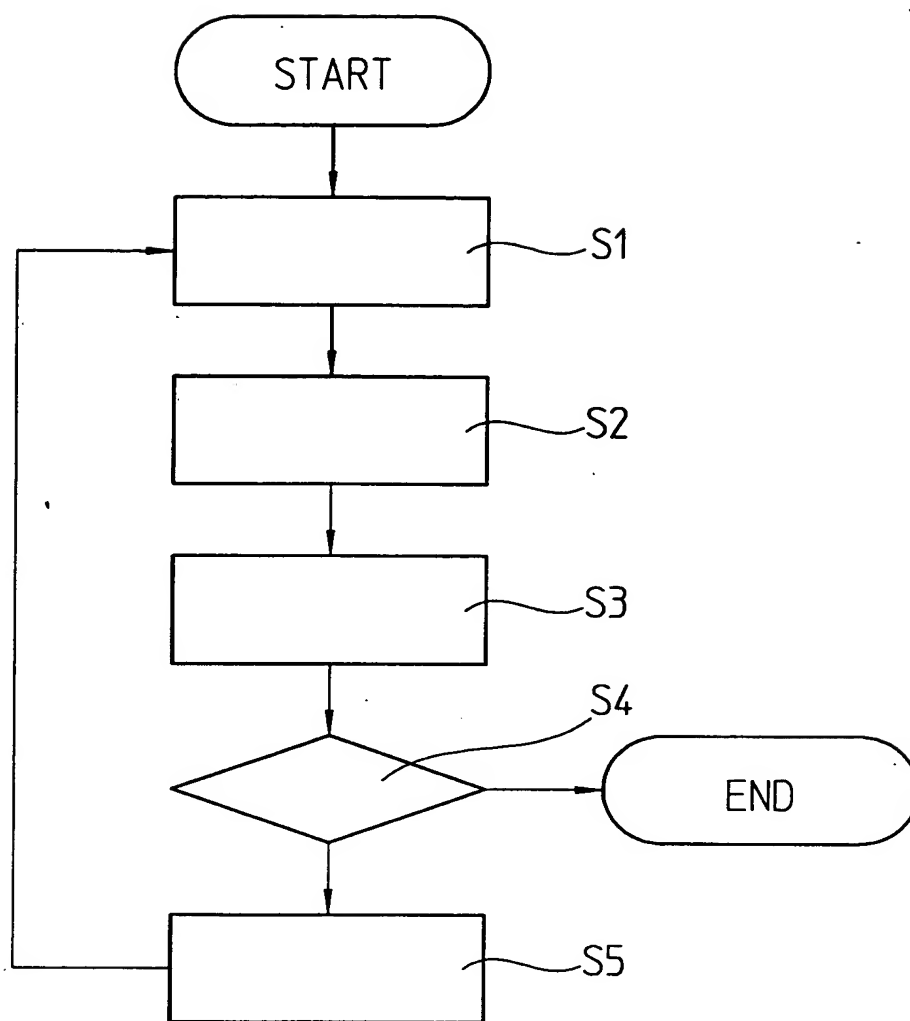


FIG. 5

